

## PENGARUH IMPLANTASI ION TITANIUM NITRIDA TERHADAP SIFAT MEKANIK BIOKOMPATIBEL MATERIAL AISI 316L

Sulistioso Giat S.<sup>1</sup>, Soeharto<sup>2</sup>, Dian Ika Rahmawati<sup>2</sup> dan Tjipto Suyitno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, FMIPA-ITS

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

<sup>3</sup>Pusat Teknologi Aselektor dan Pemurnian Bahan (PTAPB)-BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta 55010  
e-mail : [sulistioso@gmail.com](mailto:sulistioso@gmail.com)

Diterima: 12 Juni 2012

Diperbaiki: 22 Agustus 2012

Disetujui: 10 Oktober 2012

### ABSTRAK

**PENGARUH IMPLANTASI ION TITANIUM NITRIDA TERHADAP SIFAT MEKANIK BIOMATERIAL AISI 316L.** Telah dilakukan analisis sifat mekanik dari material *stainless steel* AISI 316L yang diimplantasi ion Titanium Nitrida (TiN) dengan variasi waktu implantasi 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Untuk mengetahui beban maksimum yang diberikan pada sampel pada waktu uji lelah, maka dilakukan uji tarik dengan menggunakan 3 buah sampel sebelum sampel diimplantasi dengan ion TiN. Didapat rata-rata tegangan tarik maksimum adalah 69,543 kgf/mm<sup>2</sup> (695,43 MPa), sedangkan rata-rata tegangan luluhnya adalah 63,852 kgf/mm<sup>2</sup> (638,52 MPa). Kemudian dilakukan uji lelah (*fatigue test*) untuk melihat pengaruh perlakuan implantasi dengan TiN pada umur lelah dari AISI 316L, menggunakan metode *rotating bending*. Uji awal dari penentuan umur lelah, dilakukan uji lelah untuk waktu implantasi 0 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan beban 460 MPa. Hasil pengujian, umur lelah sesuai dengan waktu implantasi, adalah 15.567 *cycles*, 16.050 *cycles*, 21.950 *cycles* dan 19.100 *cycles*. Waktu implantasi yang menghasilkan umur lelah tertinggi adalah 90 menit. Kemudian dilakukan uji umur lelah untuk waktu implantasi 90 menit dengan beban 420 MPa, 440 MPa, 460 MPa dan didapat hasil berturut-turut sebagai berikut 213.700 *cycles*, 83.433 *cycles* dan 21.853 *cycles*. Hasil uji kekerasan sebagai fungsi dari waktu implantasi 0 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit pada titik terluar adalah : 387 VHN, 440 VHN, 586 VHN dan 674 VHN. Dapat disimpulkan bahwa waktu implantasi untuk mendapatkan umur lelah terbaik adalah 90 menit, tapi untuk kekerasan sampel, semakin lama waktu implantasi maka sampel semakin keras.

**Kata Kunci :** Implantasi ion, TiN, *Rotating bending*, AISI 316L

### ABSTRACT

**IMPLANTATION EFFECT OF TITANIUM NITRIDE (TiN) ION ON MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 316L BIOMATERIALS .** Mechanical properties analysis of AISI 316L stainless steel, implanted by Titanium Nitride (TiN) ion with varied implantation time of 60, 90 and 120 minutes have been carried out. To determine the maximum load for fatigue test, the tensile test first performed by using 3 pieces of the sample before implanted with TiN. The test results gave the maximum average value of tensile stress of 69.543 kgf/mm<sup>2</sup> (695.43 MPa), while the average yield strength is 63.852 kgf/mm<sup>2</sup> (638.52 MPa). Fatigue test was then performed to analyze the effect of TiN implantation to fatigue life of AISI 316L, using the method of rotating bending. Initial fatigue test, conducted using 460 MPa load, gave fatigue life of 15,567 cycles, 16,050 cycles, 21,950 cycles and 19,100 cycles for sample with implantation time of 0, 60, 90 and 120 minutes respectively. These data gave the highest fatigue life for 90 minutes sample. Fatigue test was then continued to perform on this sample with varied load of 420, 440 and 460 MPa which gave the fatigue lifetime value of 213,700 cycles, 83,433 cycles and 21,853 cycles respectively. Hardness test results as at outer point were 387 VHN, 440 VHN, 586 VHN and 674 VHN for sample with implantation time of 0, 60, 90, 120 minutes respectively. It can be concluded that the longer the time of implantation, the sample will be harder but the best fatigue life reach at 90 minutes time of implantation.

**Keywords :** Ion implantation, TiN, *Rotating bending*, AISI 316L

## PENDAHULUAN

Material yang dipakai untuk bahan endoprostetik atau material *implant* harus memenuhi 2 persyaratan yaitu *biocompatible* (dapat diterima oleh tubuh) dan sifat mekanik yang sesuai dengan kondisi tubuh manusia [2]. Material yang umum digunakan dan memenuhi persyaratan sebagai material *implant* pada saat ini adalah paduan titanium, paduan *cobalt* dan *austenitic stainless steel*.

AISI 316L banyak digunakan untuk tujuan implantasi dalam operasi bedah ortopedis karena ketahanan korosi dan propertis mekanik yang baik serta harga yang murah, tetapi AISI 316L kurang baik sifat biokompatibilitasnya dengan tubuh sehingga untuk material implan dengan bahan *stainless steel* AISI 316L tidak dapat digunakan untuk jangka waktu lama karena pada lingkungan cairan tubuh (*body fluid*) terjadi korosi lokal serta adanya peristiwa pelepasan ion [1] menuju jaringan di sekitar implan sehingga dapat menimbulkan ancaman baru bagi pasien.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi dari *stainless steel* AISI 316L adalah dengan cara melakukan perlakuan permukaan (*surface treatment*). Sebelumnya telah banyak penelitian yang berkaitan dengan perlakuan permukaan pada material implan melakukan penelitian mengenai pengaruh implantasi  $N_2$ , Zr dan TiN pada *stainless steel* 316L terhadap perilaku gesekan dan ketahanan ausnya [3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume keausan pada spesimen yang diimplan TiN, Zr dan  $N_2$  mengalami penurunan masing-masing sebesar 90 %, 88 % dan 77 %. Kekerasan permukaan spesimen juga mengalami kenaikan untuk implantasi Zr,  $N_2$  dan TiN masing-masing sebesar 4 kali, 5 kali dan 7 kali lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen awal. Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya kestabilan korosi titanium nitrida yang dilapiskan dengan metode ion implantasi dan *Physical Vapor Deposition* (PVD) [4]. Perlakuan permukaan dilakukan pada logam titanium, kemudian dilakukan uji korosi dalam larutan HCl panas.

Hasil yang diperoleh menunjukkan lapisan nitrida yang dihasilkan pada metode implantasi ion lebih stabil meskipun di uji pada larutan yang bersifat korosif. Pada penelitian ini akan dilakukan perlakuan permukaan pada *stainless steel* AISI 316L yaitu implantasi ion titanium nitrida (TiN). Selain untuk meningkatkan ketahanan korosi, TiN juga dapat mencegah adanya pelepasan ion-ion logam dari material ke dalam tubuh serta meningkatkan ketahanan aus dari material *implant* [5,6]

Perlakuan permukaan (*surface treatment*) umumnya diaplikasikan untuk suatu kondisi tertentu dimana diperlukan ketahanan aus yang tinggi serta ketangguhan yang baik. Kedua sifat tersebut pada dasarnya berlawanan, karena apabila kekerasan dan kekuatan meningkat maka keuletan dan ketangguhan akan menurun. Untuk memenuhi kebutuhan material

tersebut maka dibuat material dengan bagian luar yang keras dan bagian dalam tetap ulet. Cara yang dapat digunakan adalah dengan perlakuan permukaan (*surface treatment*) [6,12]. Pada makalah ini untuk menentukan waktu optimum pada proses implantasi ion TiN, agar menghasilkan peningkatan umur lelah tertinggi, dilakukan variasi waktu implantasi yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Kemudian dilakukan uji lelah dengan metode *rotating bending* untuk sampel sebelum dan setelah dilapis dengan TiN. Uji kekerasan juga akan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara waktu implantasi ion dengan kekerasan material.

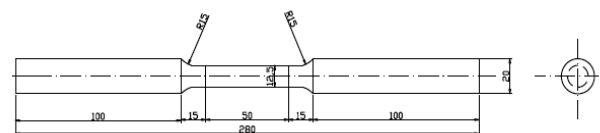
## METODE PERCOBAAN

Sampel AISI 316L yang dipakai pada penelitian ini dari Viraj Profile LTD India, dengan bentuk batangan (*rod*) dan diameter 15 mm [7]. Komposisi dari sampel tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Tahap pertama dari preparasi sampel adalah membentuk batangan sampel menjadi sampel uji tarik seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan sampel uji lelah pada Gambar 2. Selanjutnya dilakukan uji tarik pada sampel sebelum dilapis TiN untuk mengetahui kekuatan maksimal sampel.

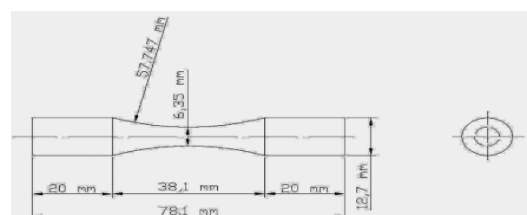
Kemudian dilakukan uji lelah pada sampel setelah di lapis dengan TiN dengan metode implantasi ion [8]. Implantasi Ion TiN dilakukan di PTAPB-BATAN Yogyakarta, dengan durasi implantasi divariasi 60 menit,

Tabel 1. Komposisi dari AISI 316L

Unsur	Komposisi (%)
C	0.0210
Mn	1.460
Si	0.450
S	0.020
P	0.040
Cr	16.700
Ni	10.060
Cu	0.500
Mo	2.030
Co	0.190
N	0.069



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik



Gambar 2. Spesimen Uji Lelah

90 menit dan 120 menit, uji lelah tahap awal ini menggunakan beban tetap sebesar 460 MPa, untuk mendapatkan durasi implantasi yang paling optimal.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan uji Lelah dengan menggunakan durasi implantasi selama 90 menit dengan beban divariasi 420 MPa, 440 MPa dan 460 MPa. Tahap akhir adalah uji kekerasan (*Hardness Test*) dengan *Vickers Microhardness*, pada sampel yang sudah diimplantasi dengan TiN, untuk ketiga sampel dengan durasi implantasi yang berbeda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan uji lelah, dilakukan terlebih dahulu uji tarik untuk mendapatkan parameter tegangan luluh (*yield strength*) dan tegangan tarik maksimum (*Ultimate tensile strength*). Standar untuk dimensi dan bentuk sampel uji tarik digunakan standar JIS Z 2241, pada pengujian tarik ini digunakan 3 buah spesimen dari AISI 316L yang belum di lapis dengan TiN.

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa tegangan tarik maksimum rata-rata untuk material sebelum dilapis dengan TiN adalah 69,543 kgf/mm<sup>2</sup> (695,43 MPa), sedangkan rata-rata tegangan luluhnya adalah 63,852 kgf/mm<sup>2</sup> (638,52 MPa). Dari data-data tersebut diatas, maka dapat ditentukan beban untuk uji lelah (*rotating bending*) yaitu dibawah tegangan luluhnya, pada penelitian ini digunakan beban sebesar 420 MPa, 440 MPa dan 460 MPa. Hasil dari uji lelah (*Fatigue test*), diperlihatkan pada Tabel 3.

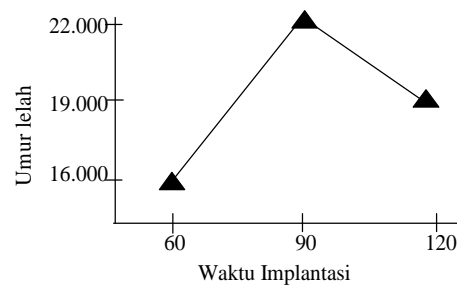
Kode sampel TiN<sub>1</sub> dan TiN<sub>2</sub> adalah sampel AISI 316L, yang di implantasi dengan variasi waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit, masing-masing dibuat 2 buah sampel, kemudian diuji umur lelahnya dengan metode *rotating bending*, dengan beban 460 MPa. Dari hasil percobaan tersebut diatas, diperoleh hasil yaitu umur lelah tertinggi pada implantasi dengan waktu 90 menit.

**Tabel 2.** Data Tegangan luluh dan UTS dari sampel tanpa lapisan TiN

	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Tegangan Luluh (kgf/mm <sup>2</sup> )	64.103	63.349	64.103
Tegangan tarik maks, (kgf/mm <sup>2</sup> )	69.256	69.933	69.440

**Tabel 3.** Hasil uji lelah sampel setelah dilapis TiN dengan variasi waktu implantasi 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan beban 460 MPa.

No.	Tegangan (MPa)	Kodisasi	Waktu Implantasi Ion (menit)	Umur Lelah (cycle)	Rata-rata umur lelah (cycle)
1.	460	TiN <sub>1</sub>	60	15.200	16.050
		TiN <sub>2</sub>		16.900	
2.	460	TiN <sub>1</sub>	90	23.300	21.950
		TiN <sub>2</sub>		20.600	
3.	460	TiN <sub>1</sub>	120	19.000	19.100
		TiN <sub>2</sub>		19.200	



**Gambar 4.** Grafik dari umur lelah terhadap waktu Implantasi berdasarkan Tabel 3.

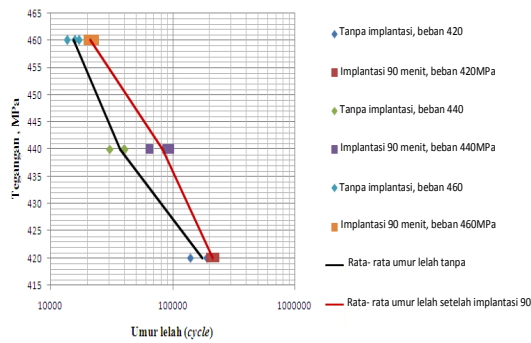
Dari Tabel 3, tampak bahwa pada uji lelah dengan beban 460 MPa, umur lelah yang terbaik pada waktu implantasi ion selama 90 menit. Semakin lama waktu implantasi maka semakin tinggi dosis ion TiN yang masuk ke dalam sampel sehingga semakin banyak ion yang masuk. Peningkatan waktu implantasi menyebabkan terjadinya peningkatan dosis ion, dimana peningkatan dosis ion ini akan menyebabkan jumlah ion yang menyisip pada substrat meningkat sehingga kerapatan antar atom juga meningkat. Ion *dopant* yang menyisip akan mengubah struktur atom dari sampel dan memungkinkan terjadinya dislokasi yang dapat meningkatkan kekerasan material, selain itu juga adanya tegangan tekan sisa akibat atom intersisi juga dapat meningkatkan nilai kekerasan sampel [9-11].

Semakin tinggi tegangan sisa dipermukaan dan juga semakin naik kerapatan dislokasi dipermukaan, maka dislokasi tersebut akan saling mengunci (*interlocking*), peristiwa tersebut diatas akan menaikkan kekerasan sampel dan juga meningkatkan kegetasan di permukaan sampel, pada saat implantasi ion selama 60 menit dan 90 menit jumlah ion TiN yang masuk ke dalam sampel masih memungkinkan dislokasi dipermukaan bergerak dengan bebas, tapi pada saat implantasi selama 120 menit, jumlah dosis ion TiN yang masuk semakin banyak akibatnya terjadi dislokasi saling mengunci (*interlocking*), konsekuensi dari adanya *interlocking* antara lain adalah butir-butir tidak dapat bergerak maka kekerasan naik, tapi kegetasan dipermukaan sampel juga meningkat, akibatnya umur lelah akan menurun [11-14].

Parameter dari hasil Tabel 3 dan Gambar 4 digunakan untuk uji lelah selanjutnya. Data-data uji lelah dengan waktu implantasi ion selama 90 menit dengan beban variasi 420 MPa, 440 MPa dan 460 MPa, disajikan pada Tabel 4.

Gambar 5 menunjukkan grafik umur lelah dari sampel sebagai fungsi dari tegangan yang diberikan kepada sampel. Dari Gambar 5, menunjukkan bahwa nilai rata-rata umur lelah setelah diimplantasi naik, dibandingkan umur lelah rata rata sebelum implantasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa implantasi ion TiN menaikkan kekuatan sampel secara keseluruhan.

Uji kekerasan dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah diimplantasi ion titanium nitrida pada



**Gambar 5.** Grafik tegangan terhadap umur lelah, untuk sampel sebelum dan sesudah di implantasi, pada variasi beban 420 MPa, 440 MPa dan 460 MPa dengan variasi waktu implantasi 60 menit, 90 menit dan 120 menit

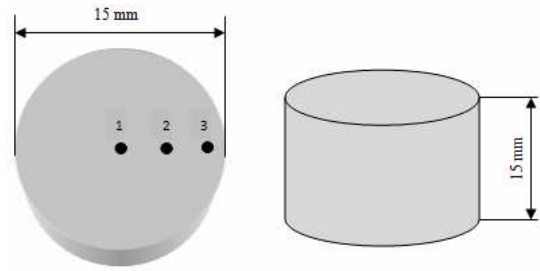
**Tabel 4.** Hasil uji lelah dari sampel sebelum dan sesudah di lapis TiN selama 90 menit, dengan variasi beban 420 MPa, 440 MPa, dan 460 MPa

Jenis Sampel	Kode pengujian	Tegangan (MPa)	Umur lelah (cycle)	Rata-rata umur lelah (cycle)
Sampel tanpa lapisan	TL <sub>1</sub>	420	192.300	175.067
	TL <sub>2</sub>		139.700	
	TL <sub>3</sub>		193.200	
	TL <sub>1</sub>	440	40.000	37.133
	TL <sub>2</sub>		30.700	
	TL <sub>3</sub>		40.700	
	TL <sub>1</sub>	460	17.100	15.567
	TL <sub>2</sub>		13.700	
	TL <sub>3</sub>		15.900	
Sampel dengan lapisan TiN	TiN <sub>90</sub> A	420	213.500	213.700
	TiN <sub>90</sub> B		227.000	
	TiN <sub>90</sub> C		201.100	
	TiN <sub>90</sub> A	440	96.700	83.433
	TiN <sub>90</sub> B		88.700	
	TiN <sub>90</sub> C		64.900	
	TiN <sub>90</sub> A	460	23.300	21.853
	TiN <sub>90</sub> B		20.600	
	TiN <sub>90</sub> C		21.660	

dengan variasi waktu implantasi yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Uji kekerasan dilakukan pada 3 titik untuk setiap sampel dengan pembebanan 10 gram dan waktu indentasi 5 detik. Alat uji keras yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan indenter *Vickers*, yang berbentuk piramid intan dengan sudut permukaan 136°. Hasil uji kekerasan ditampilkan pada Tabel 5. Sedangkan posisi indenter terhadap sampel pada uji keras, ditunjukkan pada Gambar 6.

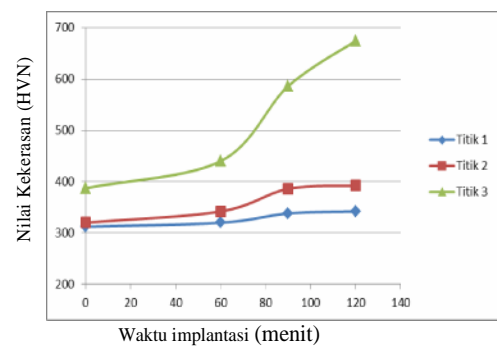
Dari Gambar 6 memperlihatkan posisi indenter pada sampel yang dipotong melintang dengan bagian tepi dari sampel diimplantasi dengan TiN, titik 3 adalah titik yang paling dekat dengan tepi, maka nilai kekerasannya paling tinggi, karena pengaruh dari implantasi TiN hanya dibagian permukaan saja, tidak



**Gambar 5.** Posisi indenter pada sampel

**Tabel 5.** Hasil Uji kekerasan untuk sampel sebelum dan sesudah dilapis dengan TiN

Waktu pelapisan. (menit)	Nilai Kekerasan (VHN)		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3
0	312	320	387
60	320	322	440
90	338	386	586
120	342	374	674



**Gambar 7.** Nilai kekerasan sebagai fungsi waktu implantasi permukaan sampel

sampai masuk jauh kedalam sampel. Mekanisme kenaikan kekerasan akibat kenaikan dosis ion yang diimplantasikan ke dalam sampel sudah dijelaskan di atas.

Nilai kekerasan sebagai fungsi waktu implantasi permukaan sampel, diperlihatkan pada Gambar 7. Gambar 7 dibuat berdasarkan data dari Tabel 5 dengan posisi titik 1, titik 2 dan titik 3 diambil dari posisi indenter pada Gambar 6. Dari Gambar 7 menunjukkan perubahan kekerasan dari sampel sebagai fungsi dari waktu implantasi, dimana kekerasan naik secara signifikan di bagian tepi dari sampel (titik 3). Hal tersebut dikarenakan ion TiN berukuran relatif besar dibandingkan ukuran atom atom SS 316L, sehingga hanya menstabilitaskan dibagian permukaan, sehingga sifat mekaniknya tidak berubah.

## KESIMPULAN

Implantasi ion TiN meningkatkan umur lelah material, waktu optimum implantasi ion yang menghasilkan umur lelah terpanjang adalah 90 menit. Hasil uji lelah pada AISI 316L setelah diimplantasi dengan

TiN menunjukkan kenaikan umur lelah rata-rata, dibandingkan sebelum diimplantasi. Sedangkan kekerasan sampel di permukaan meningkat seiring kenaikan waktu implantasi.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. T. M. SRIDHAR, MUDALI, U. KAMACHI and M. SUBBAIYAN, *Corrosion Science*, **45** (2003) 237-252
- [2]. CAHYANTO, ARIEF., *Makalah Biomaterial*, Universitas Padjajaran, Bandung, (2009)
- [3]. DOGAN, HALIT, FINDIK, FEHIM and MORGUL, *Material and Design*, **23** (2002) 605-610
- [4]. N. HEIDE and J. W. SCHULTZE, *Nuclear Instruments and Methodes in Physics Research*, **81** (1993) 467-471
- [5]. UGUR. TURKAN, ORHAN. OZTURK, EROGLU, E. AHMAET, *Surface and Coatings Technology*, **200** (2005) 5020-5027
- [6]. H. SUDJATMOKO, SUJITNO, TJIPTO, *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, Puslitbang Teknologi Maju - Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta, (2003)
- [7]. *Viraj Profile LTD.*, 10 Imperial Chambers 1<sup>st</sup> Floor, Wilson Road Mumbai 400 038, India
- [8]. J. A. BERRIOS, D. G. TEER, CABRERA, PUCHI, *Surface and Coating Technology*, **148** (2001) 179-190
- [9]. DIAN IKA RAHMAWATI, Studi Eksperimental pengaruh Implantasi Ion Titanium Nitrida (TiN) dan Lapisan Hidroksiapatit (Hap) Terhadap Umur Lelah Biomaterial Stainless Steel AISI 316L, *Skripsi Jurusan Teknik Mesin ITS*, Surabaya, (2011)
- [10]. G. R. RAO, *Ion Implantation Effects on Surface-Mechanical Properties of Metals and Polymers*, Oak Ridge Laboratory, Metals and Ceramics Division, (1993)
- [11]. HERMAN, HERBERT, *Nuclear Instruments and Methodes*, **182/183** (1981) 887-898
- [12]. AVNER, SIDNEY H., *Introduction to Physical Metallurgy*, Tokyo, McGraw-Hill International Book Company, 2<sup>nd</sup> Edition, (1987)
- [13]. HERTZBERG, W. RICHARD, *Deformation and Fracture Mechanics of Materials*, New York, John Willey and Sons, (1983)
- [14]. Y. L. SU, S. H. YAO, C. S. WEI, W. H. KAO, C. T. WU, *Thin Solid Films*, **315** (1998) 153-158